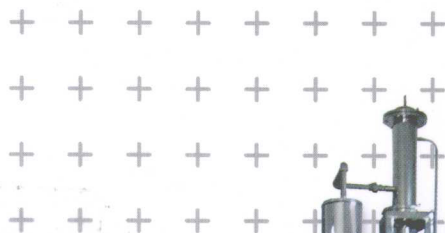


高等学校十一五规划教材

化工原理实验

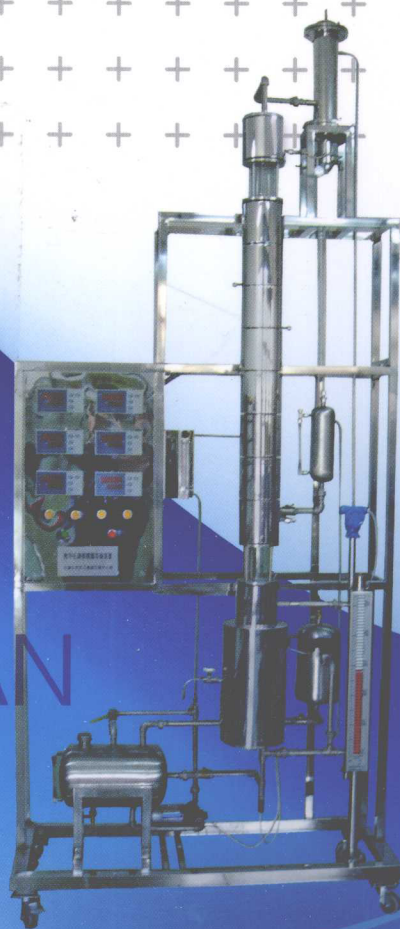
赫文秀 王亚雄 主编



HUAGONG
YUANLI SHIYAN



化学工业出版社



高等学校十一五规划教材

化工原理实验

赫文秀 王亚雄 主编



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书从化学工程学科发展对相关实验提出的要求出发,重新构造教学内容框架,突出现代化学工程从单元技术研究向以化学产品为对象的综合技术研究转变的特点。着重讲述化工原理实验基础知识,实验误差的估算与分析 and 常用化工物理量如压力差、流量、温度等的测定方法。本书实验部分包括离心泵特性曲线的测定、管道流体阻力的测定、固体流态化流动特性的测定、传热实验、填料精馏塔理论塔板数的测定、填料塔性能及吸收实验、萃取实验、干燥实验、化工流动过程综合实验、恒压过滤常数的测定、传热综合实验、精馏实验、干燥速率曲线测定实验、萃取塔实验。本书注重教学内容的改革,增添了综合性实验,如传热综合实验、化工流动过程综合实验等。

本书可作为高等学校化工、化学、环境、生物等专业的实验教材,也可作为过程工程等领域科研和继续教育的参考资料。

图书在版编目(CIP)数据

化工原理实验/赫文秀,王亚雄主编. —北京:化学工业出版社, 2010.6

高等学校十一五规划教材

ISBN 978-7-122-08473-6

I. 化… II. ①赫…②王… III. 化工原理-实验-高等学校-教材 IV. TQ02-33

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第080607号

责任编辑:徐雅妮 丁友成

文字编辑:林丹

责任校对:蒋宇

装帧设计:史利平

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印装:三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张7 字数173千字 2010年7月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:15.00元

版权所有 违者必究

前 言

近年来，实验装置的不断发展及测试手段和仪器仪表的升级呼唤着教材内容的更新；另一方面，面向 21 世纪的人才培养目标对实验教学提出了更高的要求，所以加强学生素质、能力培养，尤其是创新能力的培养是编写本书的初衷。

化工原理实验作为化工类创新人才培养过程中重要的实践环节，在化工教育中起着重要的作用，它具有直观性、实践性、综合性和创新性，而且还能培养学生一丝不苟、严谨的工作作风和实事求是的工作态度。因此，本书以培养实验研究过程中所需的各种能力和素质为目的，以强化创新能力为重点，对化工原理实验进行了相应的改革，更新了实验内容。更新后的实验主要是符合“素质教育”所需要的综合型、研究型、设计型实验，同时实验设备也达到了国内领先水平。

本书作为化工原理实验的指导书，其具有如下特点：①将实验研究过程中所需要的各种能力，通过不同的实验来培养，而工作作风和态度的培养则贯穿于每个实验环节；②实验内容通过必做与选做的结合，来达到因材施教的目的；③实验内容尽可能接近工厂实际，以训练工程能力。

本书由赫文秀、王亚雄主编，各章执笔者分别为：第 1 章、第 2 章、实验 1~10 赫文秀；第 3 章、实验 11、实验 12 王亚雄；实验 13 郎中敏；实验 14 李玉生。郎中敏和李玉生还负责全书的插图和部分文字的录入工作。

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有不妥之处，恳切希望读者批评指正。

编者

2010 年 2 月

目 录

第 1 章 化工原理实验基础知识	1
1.1 化工原理实验守则	1
1.2 化工原理实验的教学目的和要求	1
1.2.1 化工原理实验的教学目的	1
1.2.2 化工原理实验的教学要求	2
1.3 化工实验操作基本知识	8
1.3.1 化工实验注意事项	8
1.3.2 化工实验安全知识	8
1.3.3 高压钢瓶的安全使用	12
1.3.4 实验室消防	13
1.4 实验室安全用电	14
1.4.1 保护接地和保护接零	14
1.4.2 实验室用电的导线选择	15
1.4.3 实验室安全用电注意事项	15
第 2 章 实验数据误差分析及处理	16
2.1 实验数据的误差分析	16
2.1.1 误差的相关概念	16
2.1.2 有效数字及其运算规则	20
2.1.3 误差的基本性质	21
2.2 实验数据处理	25
2.2.1 实验数据的整理方法	25
2.2.2 实验数据处理方法	27
第 3 章 化工基本物理量的测量	30
3.1 压力(差)的测量	30
3.1.1 液柱式压差计	30
3.1.2 弹性式压力计	32
3.1.3 电气式压力计	32
3.1.4 流体压力测量中的技术要点	33
3.2 流速与流量的测量	34
3.2.1 测速管	34
3.2.2 孔板流量计	35
3.2.3 文丘里(Venturi)流量计	38
3.2.4 转子流量计	38
3.3 温度的测量	40
3.3.1 玻璃管温度计	40

3.3.2	热电偶温度计	41
3.3.3	热电阻温度计	42
3.3.4	热敏电阻温度计	42
实验部分		43
实验 1	离心泵特性曲线的测定	43
实验 2	管道流体阻力的测定	46
实验 3	固体流态化流动特性的测定	50
实验 4	传热实验	53
实验 5	填料精馏塔理论塔板数的测定	58
实验 6	填料塔性能及吸收实验	60
实验 7	萃取实验	66
实验 8	干燥实验	70
实验 9	化工流动过程综合实验	74
实验 10	恒压过滤常数测定	81
实验 11	传热综合实验	85
实验 12	精馏实验	91
实验 13	干燥速率曲线测定实验	95
实验 14	萃取塔实验	97
参考文献		103

第1章 化工原理实验基础知识

1.1 化工原理实验守则

① 遵守纪律，不迟到不早退，在实验室内保持安静，不大声喧哗，遵守实验室的一切规章制度，听从教师安排与指导，实验室不准会客。

② 实验前认真充分预习实验相关内容，做好预习报告，经教师提问通过后，方可参加实验。实验时要仔细观察，如实并及时记录实验现象及有关数据，实验后做好实验报告。

③ 实验时要严格遵守仪器、设备、电路的操作规程，不得擅自变更，正确地组装仪器，操作前须经教师检查同意后方可接通电路和开车，仪器设备发生故障严禁擅自处理，应立即报告教师，确保实验室财产与人身安全。

④ 爱护仪器设备，如有损坏应及时报告指导教师，说明情况，办理报损或赔偿。

⑤ 按规定适量取用实验试剂，水、电、气要节约使用，不得浪费。

⑥ 保持环境整洁，废物、废液不得乱丢乱倒，应放到指定位置。

⑦ 实验室里的仪器、试剂不得私自带出实验室。

⑧ 实验完毕，记录数据须经教师审查签字。做好清洁工作，恢复仪器设备原状，关好门窗，检查水、电、气源是否关好后，方可离开实验室。

1.2 化工原理实验的教学目的和要求

1.2.1 化工原理实验的教学目的

按照实验教学大纲的基本要求，根据以往的教学实践，针对学生普遍存在的实践薄弱环节，在内容编排上，本书从以下几个方面进行了考虑。

(1) 巩固和深化课堂所学的理论

根据全国高校化工原理实验教学目标的规定，从实验目的、实验原理、装置流程、数据处理等方面，组织各单元操作的实验内容。这样，通过实验可进一步学习、掌握和运用学过的基础理论，进一步理解一些比较典型的已被或将被广泛应用的化工过程与设备的原理和操作，巩固和深化所学的理论知识。例如气体吸收实验，首先，改变吸收剂用量，可以测得一组反映吸收剂用量对吸收操作影响的曲线；其次，改变混合气体处理量，可以测得一组反映混合气体处理量对吸收操作影响的曲线；再改变混合气体组成，可以测得改变混合气体组成的一系列实验数据。通过实验，使学生进一步了解吸收操作的基本流程、操作方法和各种影响因素，帮助学生理解书本上比较难弄懂的传质系数、传质推动力和阻力，传质单元高度和传质单元数等概念。

(2) 培养基本的实验和科研能力

对于化工专业来说，化工原理实验之前有物理、化学、物化等基础实验，其后有专业实验和毕业论文环节，从教学角度，应按纵向来培养和逐步提高学生的实验和科研能力。实验

和科研能力主要包括：①为了完成一定的研究课题，设计实验方案的能力；②实验过程中，观察和分析实验现象的能力；③正确选择和使用测量仪表的能力；④利用实验的原始数据进行数据处理，以获得实验结果的能力；⑤运用文字、图表完成实验报告的能力。这些能力是科学研究的基础，而化工原理实验往往规模较大，接近工程实际，是多因子影响的综合实验。学生只有通过一定数量的实验训练，才能掌握各种实验技能，为将来从事科学研究和解决工程实际问题打好坚实的基础。

(3) 培养严肃认真的科学作风

通过误差分析及数据整理，使学生严肃对待取样、参数测量等各个环节，注意观察实验中的各种现象，运用所学的理论去分析实验装置、结构、操作等对测量结果的影响，严格遵守操作规程，集中精力进行观察、记录和思考。掌握数据处理方法，分析误差的性质和影响程度。培养学生严肃认真的学习态度和实事求是的科学态度，为将来从事科学研究和解决工程实践问题打好基础。

(4) 丰富化学工程的实际知识

在化工、轻工等工业生产和实验研究中，经常测量的物理量有温度、压力、流量等，保证测量值达到所要求的精度，涉及测量技术问题。增加常用测试仪器的基本原理和使用方法，丰富学生的实践知识。此外，化学工程类实验不同于普通化学实验，为了安全、成功地完成实验，除每个实验的特殊要求外，学生必须遵守注意事项和具备一定的安全知识，如泵、风机的启动，高压钢瓶的安全，化学药品和气体的使用和防护措施等。

总之，化工原理实验教学的目的是着重实践原理和解决实际问题能力的培养，这种能力的培养是课堂教学所无法替代的。

1.2.2 化工原理实验的教学要求

化工原理实验包括：①实验前的预习；②实验操作；③实验数据测定、记录与处理；④实验报告编写等四个主要环节。化工原理实验对于理工科学生来说，是第一次接触到用工程装置进行实验，学生往往感到陌生，无法下手。有的学生又因为是几个人一组而有依赖心理，为了切实收到教学效果，各个环节的具体要求如下。

1.2.2.1 实验前的预习

要满足达到实验目的中所提出的要求，仅靠实验原理部分是不够的，必须做到以下几点。

① 认真阅读实验教材，复习课程教材有关内容。清楚地掌握实验项目要求，实验所依据的原理，实验步骤及所需测量的参数。熟悉实验所用测量仪表的使用方法，掌握其操作规程和 safety 注意事项。应试图对每个实验提出问题，带着问题到实验室现场预习。

② 到实验室现场熟悉实验设备和流程，摸清测试点和控制点位置。确定操作程序、所测参数项目、所测参数单位及所测数据点如何分布等。

③ 在用到 CAI——计算机辅助教学手段时，可让学生进行计算机仿真练习。通过计算机仿真练习，熟悉各个实验的操作步骤和注意事项，以增强实验效果。

④ 在预习和计算机仿真练习基础上，写出实验预习报告。预习报告内容包括实验目的、原理、流程、操作步骤、注意事项等。准备好原始数据记录表格，并标明各参数的单位。

⑤ 特别要考虑一下设备的哪些部分或操作中哪个步骤会产生危险，如何防护，以保证实验过程中的人身和设备安全。不预习者不准做实验。预习报告经指导教师检查通过后方可进行实验。

1.2.2.2 实验操作

一般以 3~4 人为一小组合作进行实验，实验开始前，小组成员应根据分工的不同，明

确要求,以便实验中协调工作。并且要在适当的时候进行轮换工作,这样既能保证质量,又能获得全面的训练。

① 设备启动前必须检查、调整设备进入启动状态然后再进行送电、通水或气等启动操作。如对泵、风机、压缩机、真空泵等设备,启动前先用手扳动联轴节,看能否正常转动;检查设备、管道上各个阀门的开、闭状态是否合乎流程要求。

② 实验操作是动手动脑的重要过程,一定要严格按照操作规程进行。操作过程中设备及仪表有异常情况时,应立即按停车步骤停车并报告指导教师,对问题的处理应了解其全过程,这是分析问题和处理问题的极好机会。安排好测量范围、测量点数目、测量点的疏密等。

③ 实验进行过程中,操作要平稳、认真、细心。操作过程中应随时观测仪表指示值的变动,确保操作过程在稳定条件下进行。详细观察所发生的各种现象,例如精馏实验筛板塔的气液流动状态变化等,记录在记录本上,这样有助于对过程的分析理解。对实验的数据要判别其合理性,如果遇到实验数据重复性差或规律性差等情况,应首先分析实验中的问题,找出原因进行解决,不要轻易放过。实验数据要记录在备好的表格内。

④ 停车前应先后将有关气源、水源、电源关闭,然后切断电机电源,并将各阀门恢复至实验前所处的位置(开或关)。

1.2.2.3 实验数据的测定、记录与处理

(1) 确定要测定哪些数据

凡是和实验数据有关或是整理数据时必需的参数都应一一测定。原始数据记录表的设计应在实验前完成。演示数据应包括工作介质性质、操作条件、设备几何尺寸及大气条件等。并不是所有数据都要直接测定,凡是可以根据某一参数可以推导出或根据某一参数由手册可以查出的数据,就不必直接测定。例如水的黏度、密度等物理性质,一般只要测出水温后即可查出,因此不必测出水的黏度、密度,而应该改测水的温度。

(2) 实验数据的分割

一般来说,实验时要测的数据尽管有许多个,但常常选择其中的一个数据作为自变量来控制,而把其他受其影响或控制的数据作为因变量,如离心泵特性曲线就把流量作为自变量,而把其他同流量有关的扬程、轴功率、效率作为因变量。实验的结果又往往要把这些所测的数据标绘在各种坐标系上,为了使所测数据在坐标系上得到分布均匀的曲线,这里就涉及实验数据均匀分割的问题。化工原理实验最常用的有两种坐标纸:直角坐标纸和双对数坐标纸。坐标不同,所采用的分割方法也不同。其分割值与实验预定的测定次数以及其最大、最小的控制量 $x_{\max}$ 、 $x_{\min}$ 之间的关系如下:

$$\textcircled{1} \text{ 对于直角坐标系: } x_1 = x_{\min} \quad \Delta x = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{n-1} \quad \Delta x_{i+1} = x_i + \Delta x$$

$$\textcircled{2} \text{ 对于双对数坐标: } x_1 = x_{\min} \quad \lg \Delta x = \frac{\lg x_{\max} - \lg x_{\min}}{n-1}$$

$$\Delta x = \left(\frac{x_{\max}}{x_{\min}} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad \Delta x_{i+1} = x_i \Delta x$$

(3) 读数与记录

实验数据的记录应仔细认真、整齐清楚。学生应注意培养自己严谨的科学作风,养成良好的习惯。

① 对稳定的操作过程,在改变操作条件后,一定要等待达到新的稳定状态,方可读取数据。如何判断是否已达到稳定?一般是经两次测定其读数应相同或十分相近,对于连续的

不稳定操作,要在实验前充分熟悉方法并计划好记录的位置或时刻等,否则易造成实验结果无规则甚至反常。

② 同一操作条件下,不同数据最好是数人同时读取,若操作者同时兼读几个数据时,应尽可能动作敏捷。

③ 每次读数都应与其他有关数据及前一点数据对照,看看相互关系是否合理。如不合理应查找原因,是现象反常还是读错了数据,并要在记录上注明。

④ 记录数据应直接读取原始数据,不要经过计算后再记录,例如 U 形管压差计的两端液柱高度差,应分别读取记录,不应读取或记录液柱的差值。

⑤ 根据测量仪表的精度,正确读取有效数字,最后一位是带有读数误差的估计值,在测量时应进行估计,便于对系统进行合理的误差分析。

⑥ 碰到有些参数在读数过程中波动较大,首先设法减小其波动。在波动不能完全消除情况下,可取波动的最高点与最低点两个数据,对可疑数据,除有明显原因外(如读错、误记等),一般应在数据处理时检查处理。

⑦ 记录数据应书写清楚,字迹工整。记错的数字应划掉,避免涂改的方法,容易造成误读或看不清。要注意保存原始数据,以便检查核对。

⑧ 记录完毕要仔细检查一遍,有无漏记或记错之处,特别要注意仪表上的计量单位。实验完毕整理好原始数据,需将原始数据记录表格交指导教师检查并签字,认为准确无误后方可结束实验。实验结束后将实验设备和仪表恢复原状,切断电源,清扫卫生,经教师允许后方可离开实验室。

(4) 读数的整理及处理

① 原始记录只可进行整理,绝不可以随便修改。经判断确实为过失误差造成的不正确数据,需注明后可以剔除不计入结果。

② 采用列表法整理数据清晰明了,便于比较。一张正式实验报告一般要有四种表格:原始数据记录表、中间运算表、综合结果表和结果误差分析表。中间运算之后应附有计算示例,以说明各项之间的关系。

③ 运算中巧用参数分解法与参数综合法,可减少不必要的繁琐计算,提高运算速度,减少计算错误。例如计算填料层高度 z 时,可根据对过程的分析,将反映设备特性、操作条件的影响因素分别用传质单元高度 H_{OG} 和传质单元数 N_{OG} 来表示。

$$z = \frac{V}{K_Y a \Omega} \int_{Y_2}^{Y_1} \frac{dY}{Y - Y^*} = H_{OG} N_{OG} \quad (1-1)$$

式中 Ω ——填料塔横截面积。

再如计算传质单元高度 H_{OG} 时

$$H_{OG} = \frac{V}{K_Y a \Omega} \quad (1-2)$$

式中总传质系数 K_Y 和填料的有效比表面积 a 都需要进行测定,且 a 的数值很难直接测定,故可将二者作为一个完整的物理量来测定,使测定过程大为简化。

流体阻力实验,计算 Re 和 λ 值,可按以下方法进行。例如: Re 的计算

$$Re = \frac{d \rho u}{\mu} \quad (1-3)$$

式中, d 、 μ 、 ρ 在水温不变或变化甚小时可视为常数,合并为 $A = \frac{d \rho}{\mu}$ 故有

$$Re = Au \quad (1-3')$$

A 的值确定后,改变 u 值可算出 Re 值。

又例如, 管内摩擦系数 λ 值的计算, 由直管阻力计算公式

$$\Delta p = \lambda \frac{l}{d} \times \frac{\rho u^2}{2} \quad (1-4)$$

得

$$\lambda = \frac{d}{l} \times \frac{2}{\rho} \times \frac{\Delta p}{u^2} = B' \frac{\Delta p}{u^2} \quad (1-4')$$

式中常数

$$B' = \frac{d}{l} \times \frac{2}{\rho}$$

又实验中流体压降 Δp , 用 U 形压差计读数 R 测定, 则

$$\Delta p = gR(\rho_0 - \rho) = B''R \quad (1-5)$$

式中常数

$$B'' = g(\rho_0 - \rho)$$

将 Δp 代入上式整理为

$$\lambda = B'B'' \frac{R}{u^2} = B \frac{R}{u^2} \quad (1-5')$$

式中常数

$$B = \frac{d}{l} \times \frac{2g(\rho_0 - \rho)}{\rho}$$

仅有变量 R 和 u , 这样 λ 的计算非常方便。

④ 实验结果及结论用列表法、图示法或回归分析法来说明都可以, 但均需标明实验条件。

1.2.2.4 实验报告编写

实验报告是对实验进行的全面总结, 实验报告是一份技术文件, 是技术部门对实验结果进行评估的文字资料。实验报告必须写得简明、数据完整、结论明确, 有讨论、有分析, 得出的结论或图线得有明确的使用条件。编写实验报告的能力也要求经过严格的训练, 为今后写好研究报告和科学论文打下基础, 因此要求学生各自独立完成这项工作。化工原理实验具有显著的工程性, 属于工程技术科学的范畴, 它研究的对象是复杂的实际问题 and 工程问题, 因此化工原理的实验报告可以按传统实验报告格式或小论文格式编写。

(1) 传统实验报告的格式

实验报告内容包括以下方面。

① 实验时间、报告人、同组人等。

② 实验名称、实验目的与要求等。

③ 实验的基本原理。

④ 实验装置简介、流程图及主要设备的类型和规格。

⑤ 实验操作步骤。

⑥ 实验注意事项。

⑦ 原始数据记录。

⑧ 实验数据处理。实验数据处理就是把实验数据通过归纳、计算等方法整理出一定关系(或结论)的过程。应有计算过程举例, 即以一组数据为例从头到尾把计算过程一步一步写清楚。

⑨ 将实验结果用图示法、列表法或方程表示方法进行归纳, 得出结论。表格要易于显示数据的变化规律及参数的相关性; 图要能直观的表达变量间的相互关系。

⑩ 对实验结果及问题进行讨论。实验结果的分析与讨论是作者理论水平的具体体现, 也是对实验方法和结果进行综合分析研究, 是工程实验报告的重要内容之一, 主要内容包
括: 从理论上对实验所得结果进行分析和解释, 说明其必然性; 对实验中的异常现象进行分析讨论, 说明影响实验的主要因素; 分析误差的大小和原因, 指示出改善实验结果的途径;

将实验结果与前人和他人的结果对比,说明结果的异同,并解释这种异同;说明本实验结果在生产实践中的价值和意义,预测推广和应用效果等;就实验结果提出进一步的研究方向或对实验方法及装置提出改进建议等。

(2) 小论文格式

科学论文有其特定的写作格式,其构成包括以下部分:标题、作者、单位、中英文摘要及关键词、前言、正文、结论(或结果讨论)、致谢、参考文献。

① 标题 标题又叫题目,它是论文的总纲,是文献检索的依据,是全篇文章的实质与精华,也是引导读者判断是否阅读该文的一个依据,因此要求标题能准确地反映论文的中心内容。

② 作者和单位 署名作者只限于那些选定研究课题和制定研究方案,直接参加全部和主要研究工作,做出主要贡献并了解论文报告的全部内容,能对全部内容负责解答的人。工作单位写在作者名下。

③ 摘要 撰写摘要的目的是让读者一目了然本文研究了什么问题,用什么方法,得到什么结果,这些结果有什么重要意义,是对论文内容不加注释和评论的概括性陈述,是全文的高度浓缩,一般是文章完成后,最后提炼出来的。一般几十个字至300字为宜。

④ 关键词 关键词是论文中起关键作用的、最能说明问题的、代表论文特征的或最有意义的词语,便于检索的需要。可选3~8个关键词。

⑤ 前言 前言又称引言、导言、序言等,是论文主体部分的开端。前言贵在言简意赅,条理清晰,不与摘要雷同。比较短的论文只要一小段文字作简要说明,则不用“前言”或“引言”两字。前言一般包括以下几项内容。

研究背景和目的:说明从事该项研究的理由,其目的与背景是密不可分的,便于读者去领会作者的思路,从而准确地领会文章的实质。

研究范围:指研究所涉及的范围或所取得的适用范围。

相关领域里前人的工作和知识空白:实事求是地交代前人已做过的工作或是前人并未涉及的问题,前人工作中有什么不足并简述其原因。

研究方法:指研究采用的实验方法或实验途径。前言中只提及方法的名称即可,无须展开细述。

予想结果和意义:扼要提出本文将要解决什么问题以及这些问题有什么意义。

⑥ 正文部分 这是论文的核心部分。这一部分的形式主要根据作者意图和文章内容决定,不可能也不应该规定一个统一的形式。以实验为研究手段的论文或技术报告,包括以下几部分。

a. 实验原材料及其制备方法。

b. 实验所用设备、装备和仪器等。

c. 实验方法和过程。说明实验所采用的是什么方法,实验过程是如何进行的,操作上应注意什么问题。要突出重点,只写关键步骤。如果是采用前人或他人的方法,只写出方法的名称即可;如果是自己设计的新方法,则应写得详细些。在此说明本文的研究工作过程,包括理论分析和实验过程,可根据论文内容分成若干个标题来叙述其演变过程或分析结论,每个标题的中心内容也是本文的主要结果之一。或者说整个文章有一个中心论点,每个标题是它的分论点,它是从不同角度、不同层次支持、证明中心论点的一些观点。

⑦ 实验结果与分析讨论 这部分内容是论文的重点,是论文赖以产生的基础。需对数据处理的结果进一步加以整理,从中选出最能反映事物本质的数据或现象,并将其制成便于分析讨论的图或表。分析是指从理论上对实验所得的结果加以解释,阐明自己的新发现

或新见解。写这部分时应注意以下几个问题。

a. 选取数据时, 必须严肃认真, 实事求是。选取数据要从必要性和充分性两方面去考虑, 绝不可以随意取舍, 更不能伪造数据。对于异常数据, 不要轻易删掉, 要反复验证, 查明是因工作差错造成的, 或事情本来就如此, 或是意外现象。

b. 对图和表, 要精心设计、制作, 图要直接表达变量间的关系, 表要易于显示数据的变化规律及参数的相关性。

c. 分析问题时必须以实事为基础, 以理论为依据。

总之, 在结果与分析中既要包含所取得的结果, 还要说明结果的可信度、再现性和误差, 以及理论和分析结果的比较, 经验公式的建立, 尚存在的问题等。

③ 结论 结论是论文在分析和计算结果中分析和归纳的观点, 它是以结果和讨论为前提, 经过严密的逻辑推理做出的最后判断, 是整个过程的结晶, 是全篇论文的精髓。据此可以看出研究成果的水平。

⑨ 致谢 致谢主要是为了表示尊重所有合作者的劳动, 致谢对象包括除作者之外的所有对研究工作和论文写作有贡献、有帮助的人, 如指导过论文写作的专家、教授; 帮助搜索和整理资料的人员; 对研究工作和论文写作提过建议的人等。

⑩ 参考文献 参考文献反映作者的科学态度和研究工作的依据, 也反映作者对文献掌握的广度和深度, 可提示读者查阅原始文献, 同时也表示作者对他人成果的尊重。一般来说, 前言部分所列的文献都应与主题有关; 在方法部分, 常需应用一定的文献与之比较; 在讨论部分, 要将自己的结果与有关的同行进行比较, 这种比较都要以别人的原始出版物为基础。对引用的文献按其论文中出现的顺序, 用阿拉伯数字连续编码, 并顺序排列。

被引用的文献为期刊论文的单篇文献时, 著录格式为: 析出文献主要责任者. 析出文献题名 [文献类型标志]: 连续出版物题名: 其他题名信息, 年, 卷(期): 页码. 被引用的文献为图书、科技报告等整本文献时, 著录格式为: 主要责任者. 题名: 其他题名信息 [文献类型标志]. 其他责任者. 版本项. 出版地: 出版者, 本版年: 引文页码. 其他出版物可参照科技论文参考文献引用格式, 这里不再一一列举。

⑪ 附录 附录是在论文末尾作为正文主体的补充项目, 并不是必需的。对于某些数量较大的重要原始数据、篇幅过大不便于作正文的材料、对专业同行有参考价值的资料等可作为附录, 放在论文的最后(参考文献之后)。

⑫ 外文摘要 对于正式发表的论文, 有些刊物要求有外文摘要。通常是将中文标题(Topic)、作者(Author)、摘要(Abstract)及关键词(Key words)译为英文。排放位置因刊物而异。

用论文形式撰写“化工原理实验”的实验报告, 可极大地提高学生写作能力、综合应用知识能力和科研能力。可作为学生今后撰写毕业论文和工作后撰写学术论文打下坚实的基础, 是一种培养综合素质和能力的重要手段, 应提倡这种形式的实验报告。但无论何种形式的实验报告, 均应体现出它的学术性、科学性、理论性、规范性、创造性和探索性。论文和参考文献的格式, 具体可参考国家标准 GB/T 7713—1987《科学技术报告、学位论文和学术论文的编号格式》、GB/T 7713.1—2006《学位论文编写规则》、GB/T 7713.3—2009《科技报告编写规则》和 GB/T 7714—2005《文后参考文献著录规则》。

实验报告必须力求简明、书写工整、文字流畅、数据齐全、结论明确。图形图表必须用直尺、曲线板绘制, 并由计算机进行数据处理。

报告应在指定时间交给指导老师批阅。

1.3 化工实验操作基本知识

化工实验与一般化学实验比较起来,有共同点,也有其本身的特殊性。为了安全成功地完成实验,除了每个实验的特殊要求外,在这里提出一些化工实验中必须遵守的注意事项和一些必须具备的安全知识。

1.3.1 化工实验注意事项

(1) 设备启动前必须检查的事项

① 泵、风机、压缩机、电机等转动设备,用手使其运转,从感觉及声响上判别有无异常;检查润滑油位是否正常。

② 设备上阀门的开、关状态。

③ 接入设备的仪表开、关状态。

④ 拥有的安全措施,如防护罩、绝缘垫、隔热层等。

(2) 仪器仪表使用前必须做到的事项

① 熟悉原理与结构。

② 掌握连接方法与操作步骤。

③ 分清量程范围,掌握正确的读数方法。

④ 接入电路前必须经教师检查。

(3) 操作过程中应做到的事项

注意分工配合,严守自己的岗位,精心操作。关心和注意实验的进行,随时观察仪表指示值的变动,保证操作过程在稳定的条件下进行。产生不合规律的现象时要及时观察研究,分析原因,不要轻易放过。

(4) 异常情况处理

操作过程设备及仪表发生问题应立即按停车步骤停车,报告指导教师。同时应自己分析原因供教师参考。未经教师同意不得自行处理。在教师处理问题时,学生应了解其过程,这是学习分析问题与处理问题的好机会。

(5) 实验结束应做到的事项

实验结束时应先将有关的热源、水源、气源、仪表的阀门关闭,然后再切断电机电源。

(6) 提高实验安全防范意识

化工实验要特别注意安全。实验前要搞清楚总水闸、电闸、气源阀门的位置和灭火器材的安放地点。

1.3.2 化工实验安全知识

为了确保设备和人身安全,从事化工原理实验的人员必须具备以下安全知识。

1.3.2.1 危险药品分类

实验室常用的危险品必须合理地分类存放。易燃物品不能与氧化剂放在一起,以免发生着火燃烧的事故。对不同的危险药品,在为扑救火灾选择灭火剂时,必须针对药品进行选用,否则不仅不能取得预期效果,反而会引起其他的危险。例如,着火处有金属钾、钠存放时,不能用水灭火,否则会使火灾蔓延;若着火处有氰化钾,则不能使用泡沫灭火剂,因为灭火剂中的酸与氰化钾反应生成剧毒的氰化氢。因此,了解危险品性质与分类十分必要。危险药品大致分为下列几种类型。

(1) 爆炸品

本类化学品指在外界作用下(如受热、受压、撞击等),能发生剧烈的化学反应,瞬时

产生大量的气体和热量,使周围压力急剧上升,发生爆炸,对周围环境造成破坏的物品,也包括无整体爆炸危险,但具有燃烧、抛射及较小爆炸危险的物品。

常见的爆炸性物品有硝酸铵(硝酸炸药的主要成分)、重氮盐、三硝基甲苯(TNT)和其他含有三个硝基以上的有机化合物等。这类化合物对热和机械作用(研磨、撞击等)很敏感,爆炸威力都很强,特别是干燥的爆炸物爆炸时威力更强。

(2) 压缩气体和液化气体

本类化学品系指压缩、液化后压力溶解的气体,并符合下述两种情况之一者。

① 临界温度低于 50°C ,或在 50°C 时,其蒸气压力大于 294kPa 的压缩后液化气体。

② 温度在 21.1°C 时,气体的绝对压力大于 275kPa ,或在 54.4°C 时,气体的绝对压力大于 715kPa 的压缩气体;或在 37.8°C 时,雷德蒸气压力大于 275kPa 的液化气体或加压溶解的气体。

该类物品有三种:①可燃性气体(氢、乙炔、甲烷、煤气等);②助燃性气体(氧、氯等);③不燃性气体(氮、二氧化碳等)。该类物品的使用和操作有一定要求,有关内容在安全使用压缩气体一节中专门介绍。

(3) 易燃液体

本类化学品系指易燃的液体、液体混合物或含有易燃物质的液体,但不包括由于其危险性已列入其他类别的液体。其实验闪点等于或低于 61°C 。

易燃液体在有机化工实验室内大量接触,容易挥发和燃烧,达到一定浓度遇明火即着火。如在密闭容器内着火,甚至会造成容器超压破裂而爆炸。易燃液体的蒸气一般比空气重,当它们在空气中挥发时,常常在低处或地面上漂浮。因此,存放这种物品时必须严禁明火、远离电热设备和其他热源,更不能同其他危险品放在一起,以免引起更大的危险。

(4) 易燃固体、自燃物品和遇湿易燃物品

易燃固体系指燃点低,对热、撞击、摩擦敏感,易被外部火源点燃,燃烧迅速,并可能散发出有毒烟雾或有毒气体的固体,但不包括已列入爆炸品的物品。自燃物品系指自燃点低,在空气中易发生氧化反应,放出大量的热,而自行燃烧的物品。遇湿易燃品系指遇水或受潮时,发生剧烈化学反应,放出大量的易燃气体和热量的物品。有的不需明火,即能燃烧或爆炸。

松香、石蜡、硫、镁粉、铝粉等都属于易燃固体。它们不自燃,但易燃。燃烧速度一般较快。这类固体若以粉尘悬浮物形式分散在空气中,达到一定浓度时,遇有明火就可能发生爆炸。带油污的废纸、废橡胶、硝化纤维、黄磷等,都属于自燃性物品。它们在空气中能因逐渐氧化而自燃,如果热量不能及时散失,温度会逐渐升高到该物品的燃点,发生燃烧。因此,对这类自燃性废弃物,不要在实验室堆放,应当及时清除,以防意外。钾、钠、钙等轻金属遇水时能产生氢和大量的热,以致发生爆炸。电石遇水产生乙炔和大量的热,即使冷却有时也能着火,甚至会引起爆炸。

(5) 氧化剂和有机过氧化物

氧化剂系指处于高氧化态,具有强氧化性,易分解并放出氧和热量的物质。包括含有过氧基的无机物,其本身不一定可燃,但能导致可燃物的燃烧,与松软的粉末状可燃物能组成爆炸性混合物,对热、震动或摩擦较敏感。有机过氧化物系分子组成中含有过氧基的有机物,其本身易燃易爆,极易分解,对热、震动或摩擦极为敏感。

氧化物包括高氯酸盐、氯酸盐、次氯酸盐、过氧化物、过硫酸盐、高锰酸盐、铬酸盐及重铬酸盐、硝酸盐、溴酸盐、碘酸盐、亚硝酸盐等。它们本身一般不能燃烧,但在受热、受光直射或与其他药品(酸、水等)作用时,能产生氧,起助燃作用并造成猛烈燃烧。如过氧化钠与

水作用,反应剧烈并能引起猛烈燃烧。其他强氧化剂遇见还原剂或与有机药品混合后,能因受热、摩擦、撞击发生爆炸。如氯酸钾和硫混合可因撞击而爆炸;过氯酸镁是很好的干燥剂,若被干燥的气流中存在烃类蒸气时,其吸附烃类后就有爆炸危险。有机过氧化物包括过氧乙酸、过氧化甲乙酮等,都具有较强的氧化性,容易燃烧和爆炸。通常,人们对过氧化剂和有机过氧化物的危险性认识不足,这常常是发生事故的原因之一,必须予以足够的重视。

(6) 有毒品

本类化学品系指进入肌体后,累积达到一定的量,能与体液和器官组织发生生物化学作用或生物物理学作用,扰乱或破坏肌体的正常生理功能,引起某些器官和系统暂时性或持久性的病理改变,甚至危及生命的物品。经口摄取,半数致死量固体 $LD_{50} \leq 500\text{mg/kg}$,液体 $LD_{50} \leq 2000\text{mg/kg}$;经皮肤接触 24h,半数致死量 $LD_{50} \leq 1000\text{mg/kg}$;粉尘、烟雾剂蒸气吸入,半数致死量固体或液体 $LD_{50} \leq 10\text{mg/kg}$ 。

中毒途径有误服、吸入呼吸道或皮肤被沾染等。其中有的蒸气有毒,如汞;有的固体或液体有毒,如钡盐、农药。根据毒品对人身体的危害程度分为剧毒、致癌、高毒、中毒、低毒等类别。使用这类物质应十分注意,以防止中毒。实验室所用毒品应有专人管理,建立购买、保存与使用档案,剧毒品的使用档案管理,还必须符合国家规定的五双条件:即两人管理,两人发放,两人运输,两把锁,两人使用。

(7) 放射性物品

本类化学品系指放射性比活度大于 $7.4 \times 10^4 \text{Bq/kg}$ 的物品。

这类物品有硝酸钍、夜光粉等。放射性物品的储存、使用场所必须设置防护措施。其入口处必须设置放射性标志和必要的防护安全联锁、报警装备或工作信号。放射性物品不得与易燃、易爆、腐蚀性的物品放在一起,其储存场所必须有防火、防盗、防泄漏的安全防护措施,并指定专人保管。储存、领取、使用、归还放射性物品时必须先登记、检查、做到账物相符。

(8) 腐蚀品

本类化学品系指能灼伤人体组织并对金属等物品造成损坏的固体或液体。与皮肤接触在 4h 内出现可见坏死现象,或温度在 55°C 时,对 20 号钢的表面均匀腐蚀率超过 6.25mm/a 的固体或液体。

这类物品有强酸、强碱,如硫酸、盐酸、硝酸、氢氟酸、苯酚氢氧化钾、氢氧化钠等。他们对皮肤和衣物都有腐蚀作用。特别是在浓度和温度都较高的情况下,作用更甚。使用中防止与人体(特别是眼睛)和衣物直接接触。灭火时也要考虑是否有这类物质存在,以便采取适当措施。

(9) 麻醉药品

麻醉药品是指有国际禁毒公约和我国法律法规所规定管制的,连续使用易产生身体和精神依赖性,能形成瘾癖的药品。麻醉药品包括:阿片类、可卡因类、大麻类、合成麻醉药类及卫生部指定的其他易成瘾癖的药品、药用原植物及其制剂。麻醉药品的供应必须根据医疗、教学和科研的需要,有计划地进行,必须专人保管。储存、领取、使用、归还麻醉药品时必须登记、检查、做到账物相符。

(10) 易制毒化学品

易制毒化学品是指用于非法生产、制造或合成毒品的原料、配剂等化学物品,包括用以制造的原料前体、试剂、溶剂及稀释剂、添加剂等。易制毒化学品本身并不是毒品。但其具有双重性,易制毒化学品既是一般医药、化工的工业原料,又是生产、制造或合成毒品必不可少的化学品。根据 2005 年《易制毒化学品管理条例》的规定,有 1-苯基-2-丙酮、苯乙

酸、甲苯等三类共 23 种易制毒化学品被列为管制。

易制毒化学品实行分类管理。使用、储存易制毒化学品的单位必须建立、健全易制毒化学品的安全管理制度；使用、储存易制毒化学品时，单位负责人负责制定易制毒化学品安全使用的操作规程，明确安全使用注意事项，并督促严格按照规定操作；教学负责人、项目负责人对本组的易制毒化学品的使用安全负直接责任。落实保管责任制，责任到人，实行两人管理。管理人员需报公安部门备案。管理人员调动，须经部门主管批准，做好交接工作，并备案。

1.3.2.2 危险药品的安全使用

实验用的有毒药品必须按规定手续领用与保管。剧毒品要登记在册，并有专人管理。使用后的废液必须妥善处理，不允许倒入下水道和酸罐中。凡是产生有害气体的实验操作，必须在通风橱内进行。但应注意不使有毒品洒落在实验台或地面上，一旦洒落必须彻底清理干净。

绝不允许实验室内任何容器做食具，也不准在实验室内吃食物，实验完毕必须多次洗手，确保人身安全。具有污染性质的化学药品不能与一般化学试剂放在一起。有污染性物质的操作必须在规定的防护装置内进行。违反规程造成他人的人身伤害应负法律责任。实验室内防毒防污染的操作往往离不开防毒面具，防护罩及其他的工具，在此不一一介绍。

对于易燃易爆药品应根据实验的需要量和按照规定数量领取。不能在实验场所存放大量该类物品。存放易燃品应严禁明火，远离热源，避免日光直射。有条件的实验室应设专用储藏室或存放柜。

危险性物品在实验前应结合实验具体情况，制定安全操作规程。在蒸馏易燃液体、有机物品或在高压釜内进行液相反应时，加料的数量绝不允许超过容器容积的 $2/3$ ，在加热和操作过程中，操作人员不得离岗，不允许无操作人员监视下加热，对沸点低的有机物品蒸馏时，不应直接使用明火加热，也不能加热过快，致使急剧汽化而冲开瓶塞，引起火灾或爆炸。进行这类实验操作人员，必须熟悉实验室消防器材存放地点及使用方法。

在化工实验中，往往被人们所忽视的毒物，是压差计的水银，如果操作不慎，压差计水银可能被冲洒出来。水银是一种累积性的毒物，水银进入人体不易被排除，累积多了就会中毒。因此，一方面装置中竭力避免采用水银；另一方面要谨慎操作，开关阀门要缓慢，防止冲走压力计中的水银。操作过程要小心，不要碰破压力计。一旦水银冲洒出来，一定要认真地尽可能地将它收集起来。实在无法收集的细粒，也要用硫黄粉和氯化铁溶液覆盖。因为细粒水银蒸发面积大，易于蒸发汽化，不要采用用扫帚扫或用水冲等自欺欺人的办法。

1.3.2.3 易燃物品的安全使用

各种易燃液体、有机化合物蒸气和易燃气体在空气中含量达到一定浓度时，就能与空气构成爆炸性的混合气体。这种混合气体若遇到明火就发生闪燃爆炸。任何一种可燃气体在空气中构成爆炸性混合气体时，该气体所占的最低体积百分比称爆炸下限；该气体所占的最高体积比称爆炸上限。在下限和上限之间称爆炸范围。低于爆炸下限和高于爆炸上限的可燃气体和空气混合不会发生爆炸。体积比超过上限的混合气体与空气混合后会发生燃烧但不会发生爆炸。例如甲苯蒸气在空气中的浓度为 $1.2\% \sim 7.1\%$ 时就形成爆炸性的混合气体。在这个温度范围遇明火即发生爆炸。低于 1.2% ，高于 7.1% 都不会发生爆炸。

当某些可燃性气体或蒸气遇到空气混合进行燃烧时，也可能突然发生爆炸。这是由于在空气中所占的体积比逐渐升高或降低，浓度达到爆炸限以内所致。反之，爆炸性的混合气体由于成分的变化也可以从爆炸限内逐渐变至爆炸限范围以外，成为非爆炸性气体。